

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. März 2002 (07.03.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/18883 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷:

G01F

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP01/09743

(72) Erfinder; und

(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** DAMM, Hartmut [DE/DE]; Hauptstrasse 233, 79650 Schopfheim (DE). NEUHAUS, Joachim [DE/DE]; Im Wolfischbühl 29/2, 79585 Steinen (DE). KÄMEREIT, Wolfgang [DE/DE]; Hans-Thoma-Strasse 2, 79689 Maulburg (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:

23. August 2001 (23.08.2001)

(74) Anwalt: ANDRES, Angelika; Endress + Häuser Deutschland Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

100 43 629.3 1. September 2000 (01.09.2000) DE

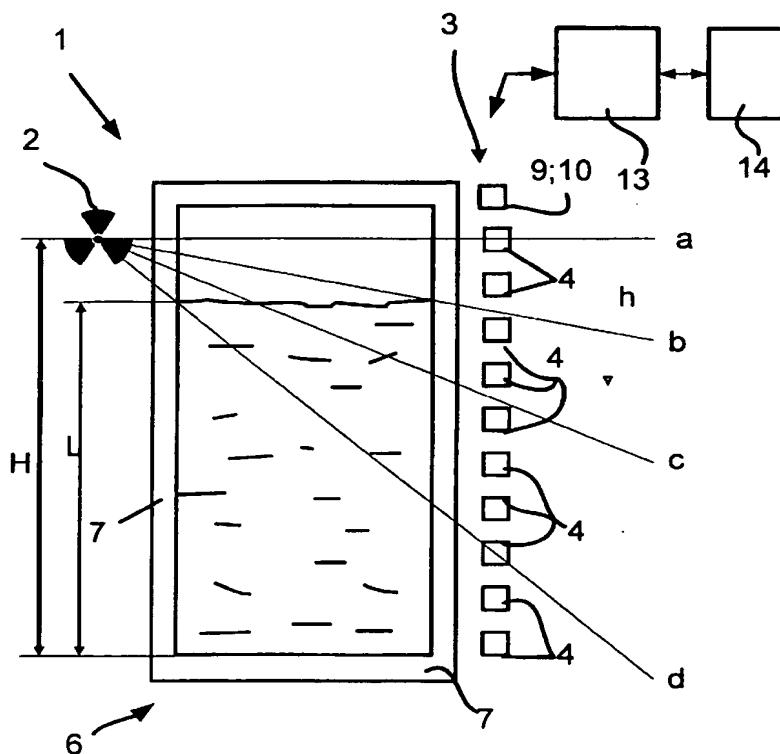
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ENDRESS + HAUSER GMBH + CO. [DE/DE]; Hauptstrasse 1, 79689 Maulburg (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR DETERMINING AND/OR MONITORING THE DENSITY AND/OR THE LEVEL OF A FILLING MATERIAL IN A CONTAINER

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG UND/ODER ÜBERWACHUNG DER DICHE UND/ODER DES FÜLLSTANDS EINES FÜLLGUTS IN EINEM BEHÄLTER



(57) Abstract: The invention relates to a device for determining and/or monitoring the density and/or the level (L) of a filling material (8) in a container (6). A transmitting unit (2) which emits radioactive radiation and a receiving unit (3) which is arranged in such a way that it receives the radioactive radiation or the secondary radiation that is produced by the interaction of the radioactive radiation with the filling material (8) are provided. A regulating/evaluating unit (13) which determines the density and/or the level of the filling material (8) in the container (6) using the measuring data that is supplied by the receiving unit (3) is also provided. The aim of the invention is to provide a device which enables the level or the density of a filling material in a container to be measured reliably. To this end, the receiving unit (3) consists of individual detector units (4). These detector units (4) are positioned at different distances from the floor of the container (6), so that each detector unit (4) directly or indirectly, essentially detects the proportion of radiation that passes

WO 02/18883 A2

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL,
TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweiibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

through a defined partial area of the container (6) or that is produced in a defined partial area of the container (6).

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung der Dichte und/oder des Füllstands (L) eines Füllguts (8) in einem Behälter (6), wobei eine Sendeeinheit (2) vorgesehen ist, die radioaktive Strahlung aussendet, wobei eine Empfangseinheit (3) vorgesehen ist, die derart angeordnet ist, daß sie die radioaktive Strahlung oder die durch Wechselwirkung der radioaktiven Strahlung mit dem Füllgut (8) erzeugte Sekundärstrahlung empfängt, und wobei eine Regel-/Auswerteeinheit (13) vorgesehen ist, die anhand der von der Empfangseinheit (3) gelieferten Meßdaten die Dichte und/oder den Füllstand des Füllguts (8) in dem Behälter (6) bestimmt. Der Erfundung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung vorzuschlagen, die eine verlässliche Messung des Füllstands oder der Dichte eines Füllguts, das in einem Behälter angeordnet ist, ermöglicht. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Empfangseinheit (3) aus einzelnen Detektoreinheiten (4) besteht, wobei die Detektoreinheiten (4) in unterschiedlichen Abständen vom Boden des Behälters (6) positioniert sind, so daß jede Detektoreinheit (4) direkt oder indirekt im wesentlichen den Strahlungsanteil detektiert, der durch einen definierten Teilbereich des Behälters (6) hindurchgeht oder der in einem definierten Teilbereich des Behälters (6) erzeugt wird.

Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung der Dichte und/oder des Füllstands eines Füllguts in einem Behälter

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung der Dichte und/oder des Füllstands eines Füllguts in einem Behälter, wobei eine Sendeeinheit vorgesehen ist, die radioaktive Strahlung aussendet, wobei eine Empfangseinheit vorgesehen ist, die derart angeordnet ist, daß sie die radioaktive Strahlung oder die durch Wechselwirkung der radioaktiven Strahlung mit dem Füllgut erzeugte Sekundärstrahlung empfängt, und wobei eine Regel-/Auswerteeinheit vorgesehen ist, die anhand der von der Empfangseinheit gelieferten Meßdaten die Dichte und/oder den Füllstand des Füllguts in dem Behälter bestimmt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung bezieht sich weiterhin auf eine Vorrichtung, bei der sich die Sendeeinheit erübrigt, da das Füllgut selbst bereits radioaktive Strahlung aussendet, die nachfolgend von der Empfangseinheit detektiert wird. Die zuletzt genannte Ausgestaltung der Erfindung kann beispielsweise bei der Kali-Konzentrationsmessung, bei der Stahl-Schrott-Überwachung auf radioaktive Materialien und bei der Pakete- bzw. bei der LKW-Überwachung auf radioaktive Materialien (z. B. an den Landesgrenzen) eingesetzt werden.

Bei der radiometrischen Füllstandsmessung bzw. bei der radiometrischen Dichtemessung wird der Behälter (Tank oder Silo), in dem das Füllgut gelagert ist, z. B. mit einer ionisierenden Strahlung durchleuchtet. Generell gibt es zwei bekannte Aufbauten: Entweder geht die Strahlung von einer punktförmigen Sendeeinheit am oberen Rand des Behälters aus und wird von einer stabförmigen Empfangseinheit (Szintillator) detektiert, die sich auf der gegenüberliegenden Seite des Behälters über die gesamte Füllhöhe erstreckt; oder die Sendeeinheit ist stabförmig und die Empfangseinheit punktförmig ausgebildet. Bei der letzten Konstellation befindet sich die Empfangseinheit bevorzugt im oberen Bereich des Behälters.

Die Empfangseinheit besteht entweder aus Kunststoff oder aus einem Kristall. In jedem Fall wird die aus dem Behälter kommende oder durch den Behälter gehende γ -Strahlung in der Empfangseinheit zumindest teilweise absorbiert. Die absorbierte Strahlung wird teilweise wieder in Form von UV-Licht abgegeben. Da die Transmission in Kunststoff für UV-Licht sehr gering ist, wird üblicherweise in den Kunststoff zusätzlich ein Wellenlängenschieber eingebaut. Dieser

Wellenlängenschieber wandelt das UV-Licht in sichtbares Licht (in der Regel in blaues oder grünes Licht) um. Das gewandelte Licht kann nachfolgend z. B. mit einem Photomultiplier in elektrische Signale umgewandelt werden. Die elektrischen Signale werden dann in einer elektronischen Schaltung ausgewertet. Zwecks Auswertung wird im Normalfall die Anzahl der Lichtimpulse gezählt. Eine weitere Möglichkeit der Auswertung besteht darin, das Amplitudenspektrum, d.h. die Anzahl der Impulse, sortiert nach ihrer Amplitude, zu untersuchen. In beiden Fällen wird stets die gesamte Strahlung bewertet, welche den Behälter und das in dem Behälter befindliche Füllgut passiert hat. Je nach Füllstand oder Dichte des Füllguts ist demnach der Anteil der absorbierten Strahlung mehr oder weniger groß.

Die bekannten radiometrischen Füllstandsmeßgeräte zeigen die folgenden Nachteile:

- Das Meßergebnis wird durch die Temperaturabhängigkeit und die Empfindlichkeit des Detektors beeinflußt.
- Werden relativ lange Kunststoffstäbe als Empfangseinheit eingesetzt, so wird ein großer Anteil des Lichts absorbiert; eine Amplitudenauswertung ist dann wenig sinnvoll.
- Fremdquellen, die nicht zum Meßaufbau gehören, verfälschen das Meßergebnis.
- Unterschiedliche Wandstärken des Behälters müssen durch aufwendige Berechnungen kompensiert werden.
- Da die Intensität der Strahlung mit dem Quadrat der Entfernung zwischen Sendeeinheit und Empfangseinheit abnimmt, muß eine Linearisierung des Meßergebnisses vorgenommen werden.
- Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß mit zunehmender Stablänge der Einfallswinkel der Strahlung auf die Behälterwand größer wird. Dadurch erhöht sich die Weglänge in der Behälterwand und damit die Absorption. Da die Absorptionsfunktion exponentiell verläuft, nimmt dieser Effekt mit größer werdender Wandstärke überproportional zu.

Aufgrund der zuvorgenannten Zusammenhänge nimmt die Meßgenauigkeit des Systems mit zunehmendem Abstand von der Sendeeinheit ab, was bedeutet, daß die Meßgenauigkeit im oberen Bereich des Behälters größer ist als im unteren Bereich. Das Verhältnis von Füllhöhe zu Behälterdurchmesser ist auf ca. 1/1

begrenzt. Die Konsequenz davon ist, daß bei einer Messung über einen ausgedehnten Füllstandsbereich mehrere Sendeeinheiten erforderlich sind. Grob läßt sich sagen, daß aufgrund der Absorption des Lichts im Kunststoffstab der Meßbereich einer einzelnen Detektoreinheit auf ca. 2 m begrenzt ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung vorzuschlagen, die eine verlässliche Messung des Füllstands oder der Dichte eines Füllguts, das in einem Behälter angeordnet ist, ermöglicht.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Empfangseinheit aus einzelnen Detektoreinheiten besteht, wobei die Detektoreinheiten in unterschiedlichen Abständen vom Boden des Behälters positioniert sind, so daß jede Detektoreinheit direkt oder indirekt im wesentlichen den Strahlungsanteil detektiert, der durch einen definierten Teilbereich des Behälters hindurchgeht oder der in einem definierten Teilbereich des Behälters erzeugt wird. Der Hauptvorteil der erfindungsgemäßen Lösung ist darin zu sehen, daß es nunmehr möglich ist, ein Intensitätsprofil über die gesamte bzw. die interessierende Füllhöhe des Behälters zu erstellen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung handelt es sich bei einer Detektoreinheit um einen Festkörperdetektor und/ oder um einen Flüssigkeitsdetektor. Insbesondere ist es möglich, als Detektoreinheit einen Kunststoffszintillator oder einen Kristallszintillator mit einem nachgeschalteten Photomultiplier oder mit einer nachgeschalteten PIN-Diode zu verwenden. Ebenso gut kann als Detektoreinheit auch eine Ionisationskammer verwendet werden. Als besonders günstig wird es jedoch angesehen, wenn es sich bei einer Detektoreinheit um einen Halbleiter-detektor, z. B. um einen CdZnTe-Detektor handelt.

Halbleiterdetektoren zeichnen sich durch eine Vielzahl von Vorteilen aus, die im nachfolgenden aufgelistet sind:

- Es tritt keine Szintillation auf, d.h. es erfolgt kein Umweg über die Licht-detektion. Vielmehr werden die freigesetzten Elektronen im Halbleiter direkt ausgewertet.
- Mit einem CdZnTe-Detektor können Energien bis 1.3 MeV gemessen werden (z. B. Co60).

- Halbleiterdetektoren sind bis zu einer Temperatur von 70° einsetzbar.
- Alterungserscheinungen sind bislang nicht bekannt, was bedeutet, daß Halbleiterdetektoren stabiler sind als z. B. Photomultiplier.
- Als Bias-Spannungen sind Werte von 100V bis 300 V pro mm Tiefe notwendig. Spannungsänderungen wirken sich daher nur in geringem Maße auf die Meßergebnisse aus.
- Die Bias-Spannungsversorgung bei Halbleiterdetektoren benötigt im Vergleich zu Photomultipliern eine sehr geringe Leistung.
- Halbleiterdetektoren sind nicht hygroskopisch und chemisch in hohem Maße stabil.
- Halbleiterdetektoren weisen einen linearen Temperaturkoeffizienten auf; eine Temperaturkompensation ist daher elektronisch auf einfache Art und Weise möglich.
- Halbleiterdetektoren zeichnen sich durch eine hohe Energieauflösung und eine kompakte Bauform aus.
- Halbleiterdetektoren benötigen zum Betrieb kein Vakuum; weiterhin besteht natürlich auch keine Glasbruchgefahr – was z. B. ein großes Problem bei Photomultipliern darstellt.

Nachteilig bei gewissen Anwendungen von Halbleiterdetektoren mag sein, daß sie infolge der kleinen Bauform – die übliche Kristallgröße liegt bei 15x15x3mm – im Gegensatz zu einem z. B. NaJ-Kristall eine relativ geringe Empfindlichkeit aufweisen. Dieser Nachteil läßt sich jedoch einfach dadurch beseitigen, daß eine Detektoreinheit aus mehreren Einzeldetektoren zusammengesetzt wird, wobei die Einzeldetektoren so angeordnet sind, daß sie ein Detektorarray bilden. Beispielsweise sind vier Einzeldetektoren zu einem rechteckigen Detektorarray zusammengesetzt bzw. zusammenge-schaltet. Selbstverständlich ist es jedoch auch – je nach Anwendungsfall – möglich, daß die Detektoreinheit aus einem Einzeldetektor besteht.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist zumindest eine erste zusätzliche Detektoreinheit vorgesehen, die oberhalb einer vorgegebenen maximalen Füllhöhe des Füllguts in dem Behälter angeordnet ist, wobei die erste zusätzliche Detektoreinheit im wesentlichen nur die von der Sendeinheit emittierte radioaktive Strahlung empfängt, die mit dem Füllgut nicht in Wechselwirkung getreten ist. Diese zusätzliche Detektoreinheit kann einmal

dazu genutzt werden, den Einfluß des Druckes, der im füllgutfreien Innenraum des Behälters herrscht, bei der Füllstands- bzw. Dichtemessung zu berücksichtigen. Die Kenntnis des Druckes ist insofern von großer Wichtigkeit, als die Absorption der radioaktiven Strahlung in Gasen stark druckabhängig ist. Kennt man den Druckeinfluß, lassen sich die Meßdaten entsprechend korrigieren. Selbstverständlich kann anstelle der ersten zusätzlichen Detektoreinheit auch ein ganz normaler Drucksensor zum Einsatz kommen. Hierbei ist wiederum lediglich zu beachten, daß sich der Drucksensor oberhalb der maximalen Füllhöhe des Füllguts in dem Behälter befindet.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht eine zweite zusätzliche Detektoreinheit vor, die so angeordnet ist, daß sie im wesentlichen nur die radioaktive Hintergrundstrahlung in der unmittelbaren Umgebung des Behälters detektiert. Hierdurch läßt sich der Einfluß unerwünschter radioaktiver Strahlungsquellen erkennen, so daß die Füllstands- bzw. die Dichtemeßdaten entsprechend korrigiert werden können.

Wie bereits zuvor erwähnt, besteht ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung darin, daß jede einzelne Detektoreinheit jeweils nur die Strahlung empfängt, die in ihre Richtung abgegeben wird. Dadurch ist es möglich, ein Intensitätsprofil über den gesamten Füllstandsmeßbereich zu erstellen. Eine höhere Ortsauslösung läßt sich übrigens dadurch erreichen, daß zwischen den von z. B. zwei Detektoreinheiten – die beiden Detektor-einheiten können beispielsweise benachbart sein - gelieferten Meßdaten eine Interpolation durchgeführt wird. Bevorzugt ist der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Detektoreinheiten variabel ausgestaltet ist, wobei der Abstand auf die jeweils gewünschte Ortsauslösung abgestimmt ist. Selbstverständlich kann der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Detektoreinheiten auch über den gesamten Füllstandsmeßbereich konstant gehalten sein.

Als besonders günstig hat sich die Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung erwiesen, bei der die Detektoreinheiten in einer vorgegebenen Anzahl auf einem Halteelement angeordnet sind. Hierdurch wird die Montage der Empfangseinheit an der Behälterwand oder in unmittelbarer Umgebung zum Behälter erheblich erleichtert. Eine bevorzugte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung schlägt vor, daß das Halteelement flexibel

ausgestaltet ist. Bei einer flexiblen Ausgestaltung läßt sich die Empfangseinheit an jede beliebige Behälterform problemlos anpassen.

Einige Detektoreinheiten, beispielsweise Photomultiplier, weisen eine relativ starke Temperaturabhängigkeit auf. Hier hat es sich als sehr vorteilhaft erwiesen, wenn jeder Detektoreinheit ein Temperatursensor zugeordnet ist, der die Temperatur am Meßort bestimmt. Aufgrund der ermittelten Temperaturmeßdaten kann die Regel-/Auswerteeinheit nachfolgend die am Meßort herrschende Temperatur bei der Auswertung der Füllstands- oder der Dichtemeßdaten berücksichtigen. Wiederum trägt diese Option zu einer Verbesserung der Meßgenauigkeit bei.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist eine Busleitung vorgesehen, über die die Detektoreinheiten ihre Meßdaten an die Regel-/Auswerteeinheit weiterleiten. Bei der Datenübermittlung bzw. bei der Datenkommunikation können selbstverständlich die bekannten Übertragungsstandards, z. B. Profibus PA, Fieldbus Foundation, usw. eingesetzt werden.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung schlägt eine Eingabe-/Ausgabeeinheit vor, über die das Bedienpersonal eine beliebige Detektoreinheit als Überfüllsicherung auswählen kann; nachfolgend erzeugt die Regel-/Auswerteeinheit über die Eingabe-/Ausgabeeinheit eine entsprechende Meldung/Warnung, sobald der vorgegebene Füllstand erreicht ist.

Als besonders günstig hat es sich darüber hinaus herausgestellt, wenn die Regel-/Auswerteeinheit die Meßdaten der einzelnen Detektoreinheiten bei leerem Behälter bestimmt und ein entsprechendes Leerprofil erstellt; ein analoges Meßprofil wird anschließend bei befülltem Behälter gewonnen. In einem letzten Schritt vergleicht die Regel-/Auswerteeinheit das Meßprofil mit dem Leerprofil und kann so Information über die Bildung von Schaum oberhalb des Füllguts oder über die Bildung von Ansatz an der Behälterwand bereitstellen.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung schlägt darüber hinaus vor, daß die Regel-/Auswerteeinheit ein Dichteprofil des in dem Behälter angeordneten Füllguts erstellt und nachfolgend unter Berücksichtigung des Dichteprofils den Füllstand des Füllguts in dem Behälter bestimmt.

Weiterhin ist vorgesehen, daß die Regel-/Auswerteeinheit ein Dichteprofil des in dem Behälter angeordneten Füllguts erstellt und daß die Regel-/Auswerteeinheit dem Bedienpersonal das Dichteprofil zwecks Prozeßanalyse und/oder zu Regelungszwecken zur Verfügung stellt.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß weiterhin dadurch gelöst, daß die Empfangseinheit aus zwei Detektoreinheiten besteht, wobei die Detektoreinheiten in unterschiedlichen Positionen entlang des Behälters positioniert sind, daß jede Detektoreinheit direkt oder indirekt im wesentlichen den Strahlungsanteil detektiert, der durch einen definierten Teilbereich des Behälters hindurchgeht oder der in einem definierten Teilbereich des Behälters erzeugt wird und daß die Regel-/Auswerteeinheit anhand der unterschiedlichen Extinktionen der Strahlungsanteile, die in den beiden Detektoreinheiten detektiert werden, die Dichte des Mediums in dem Behälter bestimmt.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1: eine schematische Darstellung einer ersten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2: ein Diagramm, welches das Intensitätsprofil bei leerem und bei gefülltem Behälter darstellt,

Fig. 3: ein Diagramm, welches das Intensitätsprofil bei leerem und bei gefülltem Behälter im Falle einer Schaumbildung auf dem Füllgut darstellt,

Fig. 4: eine schematische Darstellung einer zweiten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 5: eine schematische Darstellung einer dritten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung und

Fig. 6: eine Draufsicht auf eine als Detektorarray ausgebildete Detektoreinheit.

Fig. 7: ein Blockschaltbild einer Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung und

Fig. 8: eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bestimmung der Dichte eines Mediums.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer ersten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1. Das Füllgut 8 ist in dem Behälter 6 gelagert. Die momentane Füllhöhe des Füllguts 8 in dem Behälter 6 ist mit L gekennzeichnet.

Im oberen Bereich des Behälters 6 ist eine punktförmige Sendeeinheit 2 angeordnet, die radioaktive Strahlung aussendet. Die radioaktive Strahlung durchdringt die Behälterwand 7 und den Innenraum des Behälters 6 und wird von den Detektoreinheiten 4, die auf der gegenüberliegenden Seite des Behälters 6 angeordnet sind, empfangen. Bei den Detektoreinheiten 4 handelt es sich entweder um Einzeldetektoren oder um Detektorarrays 5, die sich aus mehreren Einzeldetektoren zusammensetzen. In der Fig. 6 ist übrigens eine mögliche Ausgestaltung eines Detektorarrays 5 dargestellt.

Die kleinen Buchstaben a, b, c, d kennzeichnen beispielhaft vier unterschiedliche Wege, die die Strahlung durch den Behälter nimmt, bevor sie von den entsprechenden Detektoreinheiten 4 empfangen wird. Es versteht sich von selbst, daß der Strahlungsanteil, der zu einer Detektoreinheit 4 gelangt, um so geringer wird, je größer der Weg ist, den die Strahlung durch das Füllgut 8 und die Behälterwand 7 zurücklegen mußte. Im gezeigten Fall bedeutet dies konkret, daß die Strahlung, die mit a und b charakterisiert ist, weitgehend ungeschwächt empfangen wird, während die Strahlung, die die Wege c und d zurückgelegt hat, durch die Wechselwirkung mit dem Füllgut 8 eine mehr oder weniger starke Absorption erfahren hat.

Oberhalb der maximal möglichen Füllhöhe H ist eine erste zusätzliche Detektoreinheit 9 vorgesehen, die stets Strahlung empfängt, die nicht mit dem Füllgut 8 in Wechselwirkung getreten ist. Diese Detektoreinheit 9 dient dazu, den jeweils absorbierten Strahlungsanteil zu erkennen, der infolge von Druckschwankungen im füllgutfreien Innenraum des Behälters 6 auftritt.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm, welches das Intensitätsprofil über die gesamte Füllhöhe H bei leerem und bei befülltem Behälter 6 wiedergibt. Wie bereits zuvor erwähnt, kann mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 ein Intensitätsprofil über den gesamten Füllstands- bzw. Dichtemeßbereich erstellt werden, da jede Detektoreinheit 4 nur die Strahlung empfängt, die von der Sendeeinheit 2 in ihre Richtung abgegeben wird. In der Fig. 2 sind übrigens die folgenden Kurven dargestellt:

- $I(0)$: Signalverlauf bei leerem Tank (Nullkurve)
- $I(h)$: Signalverlauf bei teilweise gefülltem Tank (Meßkurve)
- $I(h)/I(0)(h)$: Division der Meßkurve durch die Nullkurve
- Level(Soll): tatsächlicher Füllstand L
- Level(Mess): aus der Meßkurve abgeleiteter Füllstand

Die Vorgehensweise, wie der aktuelle Füllstand L erfindungsgemäß ermittelt wird, ist bevorzugt die folgende:

Bei der ersten Inbetriebnahme wird ein sog Nullabgleich durchgeführt. Hierzu wird die Nullkurve bei leerem Behälter 6 ermittelt; die Meßdaten der Nullkurve werden gespeichert. Die Nullkurve spiegelt also den Intensitätsverlauf über den gesamten Füllstandsmeßbereich bei leerem Behälter 6 wider. Anschließend wird bei befülltem Behälter 6, wobei die aktuelle Füllhöhe mit L gekennzeichnet ist, die aktuelle Meßkurve aufgenommen. Zwecks Füllstandsbestimmung werden die Meßdaten der aktuellen Meßkurve durch die entsprechenden Meßdaten der Nullkurve dividiert. Das Ergebnis der Division ist in dem Meßbereich, in dem kein Füllgut 8 vorhanden ist, immer gleich 1. In allen Meßbereichen, in denen Füllgut 8 vorhanden ist, sind die ermittelten Werte kleiner als 1. Der Übergang von 1 zu Werten kleiner als 1 entspricht somit dem aktuellen Füllstand L in dem Behälter 6. Durch den Nullabgleich wird es übrigens ermöglicht, den Einfluß der Behältergeometrie (z. B. durch unterschiedliche Wandstärken, Flansche oder Einbauten im Behälter 6) automatisch bei der Füllstands- oder Dichtebestimmung zu berücksichtigen.

Um Schwankungen in der Strahlungsintensität der Sendeeinheit oder um den Einfluß von Druckschwankungen im füllgutfreien Innenraum des Behälters 6 zu kompensieren, wird weiterhin der Meßwert einer ersten zusätzlichen Detektoreinheit 9 zur Normierung verwendet. Damit die erste zusätzliche Detektoreinheit 9 verlässliche Meßdaten bereitstellt, muß lediglich sichergestellt

sein, daß sie oberhalb der maximal möglichen Füllhöhe H des Füllguts 8 in dem Behälter 6 angeordnet ist.

Fig. 3 zeigt ein Diagramm, welches das Intensitätsprofil bei leerem und befülltem Behälter im Falle einer Schaumbildung auf dem Füllgut 8 darstellt. Schaumbildung tritt bei einer Vielzahl von chemischen Prozessen auf und ist in der Regel unerwünscht, da hierdurch die Füllstands- oder die Dichte-meßdaten verfälscht werden. Mit den bislang bekannten radiometrischen Meßgeräten war übrigens eine Schaumdetektion nicht möglich. Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung läßt sich der Schaum anhand eines zweiten Knicks in der aktuellen Meßkurve erkennen. Ein entsprechendes Signal kann über die Regel-/Auswerteeinheit 13 und die Eingabe-/Ausgabeeinheit 14 an das Bedienpersonal weitergegeben werden.

Übrigens ist eine Ansatzbildung an den Behälterwänden 7 dadurch erkennbar, daß sich der typische Verlauf der Meßkurve ändert.

In Fig. 4 ist eine schematische Darstellung einer zweiten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zu sehen. Diese Ausgestaltung unterscheidet sich von der in Fig. 1 gezeigten insofern, als mehrere Detektor-einheiten 4 auf je einem Halteelement 12 angeordnet sind, wobei die einzelnen Haltelemente 12 so positioniert sind, daß die Detektoreinheiten 4 den gesamten Meßbereich abdecken können. Die Kaskadierung der Einzel-detektoren erfolgt im dargestellten Fall übrigens über eine Busleitung 16. Die Busleitung 16 kann sowohl einzeln gehäuste Detektoreinheiten 4 wie auch mehrere Detektoreinheiten 4, die ein Detektorarray 5 bilden oder die auf einem Haltelement 12 angeordnet sind, miteinander verbinden. Aufgrund dieser Ausgestaltung ist bei prinzipiell unbegrenztem Meßbereich nur eine Regel-/Auswerteeinheit 13 erforderlich. Die Regel-/Auswerteeinheit 13 fragt die Detektoreinheiten 4 nacheinander ab und wertet die übermittelten Meßdaten nachfolgend aus.

Nachträgliche Erweiterungen des Meßbereichs sind bei dieser Ausgestaltung jederzeit problemlos möglich. Über die Busleitung 17 erfolgt die Kommunikation mit einer in Fig. 4 nicht gesondert dargestellten entfernten Kontrollstelle.

In Fig. 4 ist auch eine zweite zusätzliche Detektoreinheit 11 zu sehen, die die Hintergrundstrahlung in der unmittelbaren Umgebung des Behälters 6 empfängt. Die von der zweiten zusätzlichen Detektoreinheit 11 bereit-gestellten Meßdaten werden gleichfalls zu Korrekturzwecken herangezogen.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung einer dritten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1. Der Unterschied zu den Ausführungsformen, die in den Figuren Fig. 1 und Fig. 4 dargestellt sind, besteht vorrangig in der Geometrie des Behälters 6.

Neben der Füllstandsmessung bzw. der Füllstandsüberwachung eines Füllguts 8 in einem Behälter 6 ist die erfindungsgemäße Vorrichtung – wie bereits mehrfach erwähnt – bestens für die Dichtemessung bzw. für die Dichteüberwachung eines Füllguts 8 geeignet. Zur Verdeutlichung sei auf das folgende Beispiel verwiesen: In Wirbelschichtreaktoren ist die Dichte des Füllguts 8 über der Füllhöhe L im Normalfall nicht konstant. Durch die Aufwirbelung befinden sich im oberen Bereich des Behälters 6 bzw. des Reaktors überwiegend Gase oder Staubwolken, während im unteren Bereich das Füllgut 8 dicht gepackt ist. Bei herkömmlichen Meßgeräten wird dieser Effekt nur ungenügend beachtet, indem angenommen wird, daß der Dichteverlauf einer vorbestimmten Linearisierungskennlinie entspricht. Der tatsächliche Dichteverlauf über die Füllhöhe bleibt jedoch unberücksichtigt.

Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung kann einerseits der tatsächliche Dichteverlauf bestimmt werden; andererseits ist es aber auch erstmals möglich, den Füllstand selbst bei variablen Dichteverlauf exakt zu bestimmen.

Fig. 7 zeigt ein Blockschaltbild einer Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1. Der von einem Detektorelement 18 – bei dem Detektor-element 18 handelt es sich z. B. um einen CdZnTe-Detektor – detektierte Strahlungsanteil steht am Ausgang des Detekorelements 18 als Strommeß-signal zur Verfügung. Das Strommeßsignal wird in dem Verstärker 19 (Strom-Spannungs-Wandler) verstärkt. Anschließend wird das verstärkte Meßsignal auf den Differentiator 20 und parallel auf den Komparator 21 gegeben. Während der Differentiator 20 die hochenergetischen Störsignale (z. B. die kosmische Strahlung) aus dem Meßsignal entfernt, unterdrückt der Komparator 21 die niederenergetischen Rauschanteile. Die Ausgänge des Differentiators 20 und des Komparators 21 liegen an den Eingängen eines AND-Gatters 22. Am Ausgang des AND-Gatters 22 stehen folglich nur Signale an, die innerhalb eines durch die Referenzwerte Ref 1 und Ref 2 definierten Energiebereichs liegen. Bei dem Mikroprozessor 23 kann es sich beispielsweise um einen Zähler handeln. Die Signale werden über eine Busleitung 16 an die Regel-/Auswerteeinheit 13 weitergeleitet.

In Fig. 8 ist eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zur Bestimmung der Dichte ρ eines Mediums 25 dargestellt. Im gezeigten Fall handelt es sich bei dem Behälter 24 um ein Rohr, das von einem z.B. flüssigen Medium 25 durchflossen wird. Auf der einen Seite des Behälters 24 ist die Sendeeinheit 2 angeordnet. Die Sendeeinheit 2 emittiert die radioaktive Strahlung, die durch das Rohr und das Medium 25 hindurchgeht. Auf der gegenüberliegenden Seite des Behälters 24 sind zwei Detektoreinheiten 4 positioniert. Die Detektoreinheiten 4 sind so angeordnet, daß die radioaktive Strahlung unterschiedlich lange Wege durch das Medium 25 zurücklegen muß, bevor sie von den beiden Detektoreinheiten 4 detektiert wird. Bekanntlich nimmt die Intensität von Strahlung bei Durchgang durch ein Medium 25 exponentiell ab. Die Extinktionsformel lautet:

$$I_{(d)} = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$$

Wobei $I_{(d)}$ die gemessene Intensität der Strahlung ist, nachdem sie den Weg d durch das Medium 25 der Dichte ρ zurückgelegt hat, wobei I_0 die Ausgangsintensität der Sendeeinheit 2 ist und wobei μ den Extinktionsfaktor beschreibt.

Da die Strahlungsanteile infolge der verschiedenen langen Wege durch das Medium 25 unterschiedlichen Intensitäten aufweisen, läßt sich durch eine Division der Meßwerte der beiden Detektoreinheiten 4 die Extinktion μ des Mediums 25 bestimmen. Da die Extinktion μ eine Funktion der Dichte ρ des Mediums 25 ist, läßt sich folglich die Dichte ρ des Mediums 25 ermitteln.

Bezugszeichenliste

- 1 erfindungsgemäß Vorrichtung
- 2 Sendeeinheit
- 3 Empfangseinheit
- 4 Detektoreinheit
- 5 Detektorarray
- 6 Behälter
- 7 Behälterwand
- 8 Füllgut
- 9 Erste zusätzliche Detektoreinheit
- 10 Drucksensor
- 11 Zweite zusätzliche Detektoreinheit
- 12 Halteelement
- 13 Regel-/Auswerteeinheit
- 14 Eingabe-/Ausgabeeinheit
- 15 Abschirmung
- 16 Busleitung
- 17 Busleitung / Verbindungsleitung
- 18 Detektorelement
- 19 Verstärker
- 20 Diskriminator
- 21 Komparator
- 22 AND-Gatter
- 23 Mikroprozessor
- 24 Rohr
- 25 Medium

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung der Dichte und/oder des Füllstands eines Füllguts in einem Behälter, wobei eine Sendeeinheit vorgesehen ist, die radioaktive Strahlung aussendet, wobei eine Empfangseinheit vorgesehen ist, die derart angeordnet ist, daß sie die radioaktive Strahlung oder die durch Wechselwirkung der radioaktiven Strahlung mit dem Füllgut erzeugte Sekundärstrahlung empfängt, und wobei eine Regel-/Auswerteeinheit vorgesehen ist, die anhand der von der Empfangseinheit gelieferten Meßdaten die Dichte und / oder den Füllstand des Füllguts in dem Behälter bestimmt,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Empfangseinheit (3) aus einzelnen Detektoreinheiten (4) besteht, wobei die Detektoreinheiten (4) in unterschiedlichen Abständen vom Boden des Behälters (6) positioniert sind, so daß jede Detektoreinheit (4) direkt oder indirekt im wesentlichen den Strahlungsanteil detektiert, der durch einen definierten Teilbereich des Behälters (6) hindurchgeht oder der in einem definierten Teilbereich des Behälters (6) erzeugt wird.
2. Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung der Dichte und/oder des Füllstands eines radioaktiven Füllguts in einem Behälter, wobei eine Empfangseinheit vorgesehen ist, die derart angeordnet ist, daß sie die Strahlung des radioaktiven Füllguts empfängt, und einer Regel-/Auswerteeinheit, die anhand der von der Empfangseinheit gelieferten Meßdaten die Dichte und/oder den Füllstand des Füllguts in dem Behälter bestimmt,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Empfangseinheit (3) aus einzelnen Detektoreinheiten (4) besteht, wobei die Detektoreinheiten (4) in unterschiedlichen Abständen vom Boden des Behälters (6) positioniert sind, so daß jede Detektoreinheit (4) direkt oder indirekt im wesentlichen den Strahlungsanteil detektiert, der durch einen definierten Teilbereich des Behälters (6) hindurchgeht oder der in einem definierten Teilbereich des Behälters (6) erzeugt wird.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß es sich bei einer Detektoreinheit (4) um einen Festkörperdetektor und / oder um einen Flüssigkeitsdetektor handelt.

15

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß es sich bei einer Detektoreinheit (4) um einen Kunststoffszintillator oder um einen Kristallszintillator mit einem nachgeschalteten Photomultiplier oder mit einer nachgeschalteten PIN-Diode handelt.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß es sich bei einer Detektoreinheit (4) um einen Halbleiterdetektor, z. B. um einen CdZnTe-Detektor handelt.
6. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Detektoreinheit (4) aus einem Einzeldetektor besteht oder
daß sich eine Detektoreinheit (4) aus mehreren Einzeldetektoren zusammensetzt, die so angeordnet sind, daß sie ein Detektorarray (5) bilden.
7. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß zumindest eine erste zusätzliche Detektoreinheit (9) vorgesehen ist, die oberhalb einer vorgegebenen maximalen Füllhöhe (H) des Füllguts (8) in dem Behälter (6) angeordnet ist, wobei die erste zusätzliche Detektoreinheit (9) im wesentlichen nur die von der Sendeeinheit (2) emittierte radioaktive Strahlung empfängt, die mit dem Füllgut (8) nicht in Wechselwirkung getreten ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Drucksensor (10) vorgesehen ist, der oberhalb einer maximalen Füllhöhe (H) des Füllguts (8) in dem Behälter (6) angeordnet ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß zumindest eine zweite zusätzliche Detektoreinheit (11) vorgesehen ist, die so angeordnet ist, daß sie im wesentlichen nur die radioaktive Hintergrundstrahlung in der unmittelbaren Umgebung des Behälters (6) detektiert.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Detektoreinheiten (4) variabel ausgestaltet ist, wobei der Abstand auf die jeweils gewünschte Ortsauslösung abgestimmt ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Detektoreinheiten (4) in einer vorgegebener Anzahl auf einem Halteelement (12) angeordnet sind, wobei das Halteelement (12) vorzugsweise flexibel ausgestaltet ist.

12 Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß für den Fall, daß die Detektoreinheiten (4) eine Temperaturabhängigkeit aufweisen, jeder Detektoreinheit (4) ein Temperatursensor zugeordnet ist, der die Temperatur am Meßort bestimmt, und
daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) die am Meßort herrschende Temperatur bei der Auswertung der Füllstands- oder der Dichte-Meßdaten berücksichtigt.

13. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß eine Busleitung (17) vorgesehen ist, über die die Detektoreinheiten (4) bzw. die Regel-/Auswerteeinheit (13) mit einer entfernten Kontrollstelle kommunizieren.

14. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß eine Eingabe-/Ausgabeeinheit (14) vorgesehen ist, über die das Bedienpersonal eine beliebige Detektoreinheit (4) als Überfüllsicherung auswählen kann, und
daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) über die Eingabe-/Ausgabeeinheit (14) eine entsprechende Meldung abgibt, sobald der vorgegebene Füllstand (L) erreicht ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder einem oder mehreren der Ansprüche 3 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) die Meßdaten der einzelnen Detektoreinheiten (14) bei leerem Behälter (6) bestimmt und ein entsprechendes Leerprofil erstellt,

daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) die Meßdaten der einzelnen Detektoreinheiten (4) bei befülltem Behälter (6) bestimmt und ein aktuelles Meßprofil erstellt, und

daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) durch Vergleich des Meßprofils mit dem Leerprofil Information über die Bildung von Schaum oberhalb des Füllguts (8) oder über die Bildung von Ansatz an der Behälterwand (7) bereitstellt.

16. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) ein Dichteprofil des in dem Behälter (6) angeordneten Füllguts (8) erstellt und

daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) unter Berücksichtigung des Dichteprofils den Füllstand (L) des Füllguts (8) in dem Behälter (6) bestimmt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) ein Dichteprofil des in dem Behälter (6) angeordneten Füllguts (8) erstellt und

daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) dem Bedienpersonal das Dichteprofil zwecks Prozeßanalyse und/oder zu Regelungszwecken zur Verfügung stellt.

18. Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung der Dichte eines Mediums in einem Behälter, wobei eine Sendeeinheit vorgesehen ist, die radioaktive Strahlung aussendet, wobei eine Empfangseinheit vorgesehen ist, die derart angeordnet ist, daß sie die radioaktive Strahlung oder die durch Wechselwirkung der radioaktiven Strahlung mit dem Füllgut erzeugte Sekundärstrahlung empfängt, und wobei eine Regel-/Auswerteeinheit vorgesehen ist, die anhand der von der Empfangseinheit gelieferten Meßdaten die Dichte des Mediums in dem Behälter bestimmt,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Empfangseinheit (3) aus zwei Detektoreinheiten (4) besteht, wobei die Detektoreinheiten (4) in unterschiedlichen Positionen entlang des Behälters (24) positioniert sind,

daß jede Detektoreinheit (4) direkt oder indirekt im wesentlichen den Strahlungsanteil detektiert, der durch einen definierten Teilbereich des Behälters (24) hindurchgeht und
daß die Regel-/Auswerteeinheit (13) anhand der unterschiedlich Extinktion der Strahlungsanteile, die in den beiden Detektoreinheiten (4) detektiert werden, die Dichte des Mediums (25) in dem Behälter (24) bestimmt.

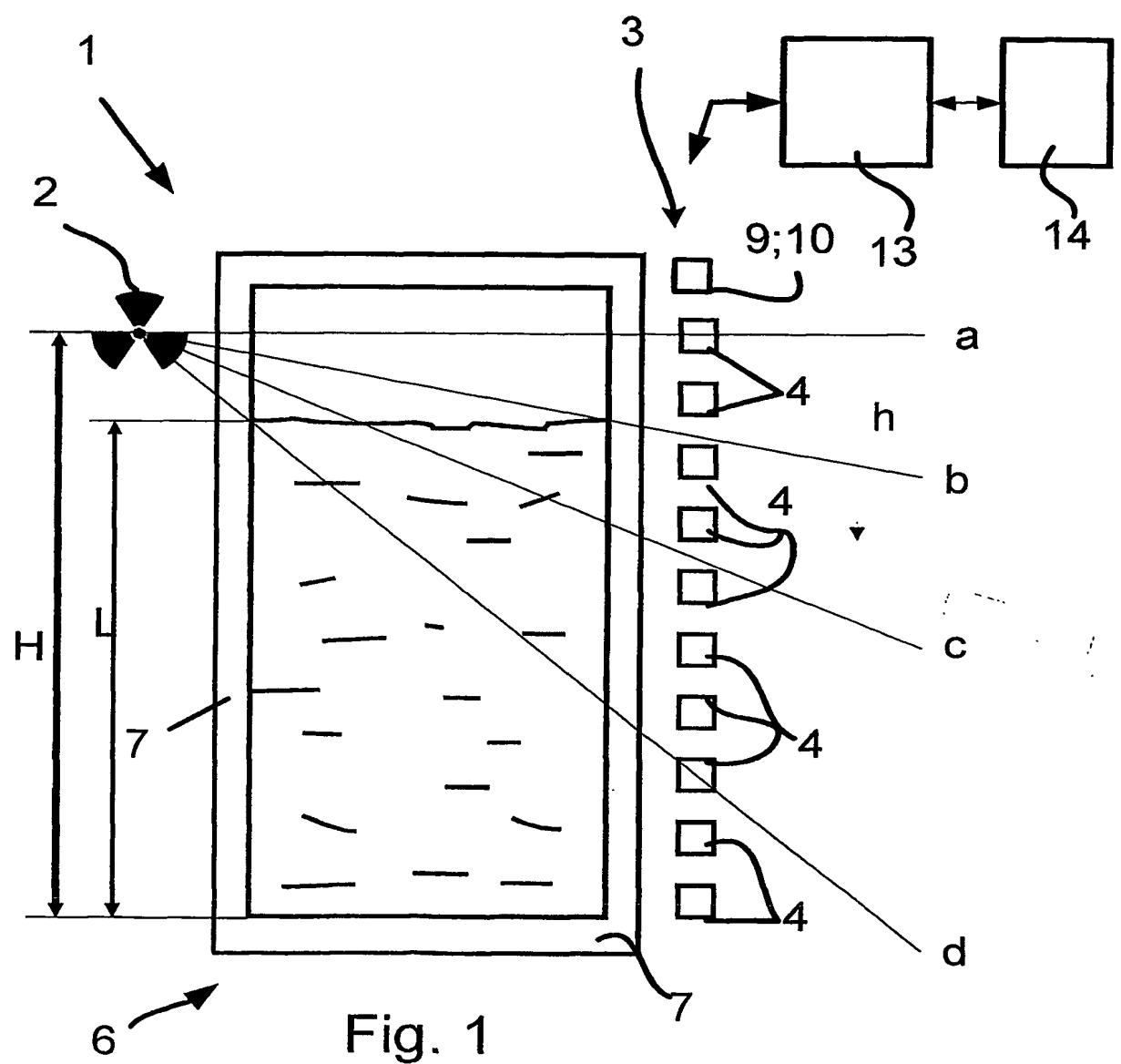


Fig. 1

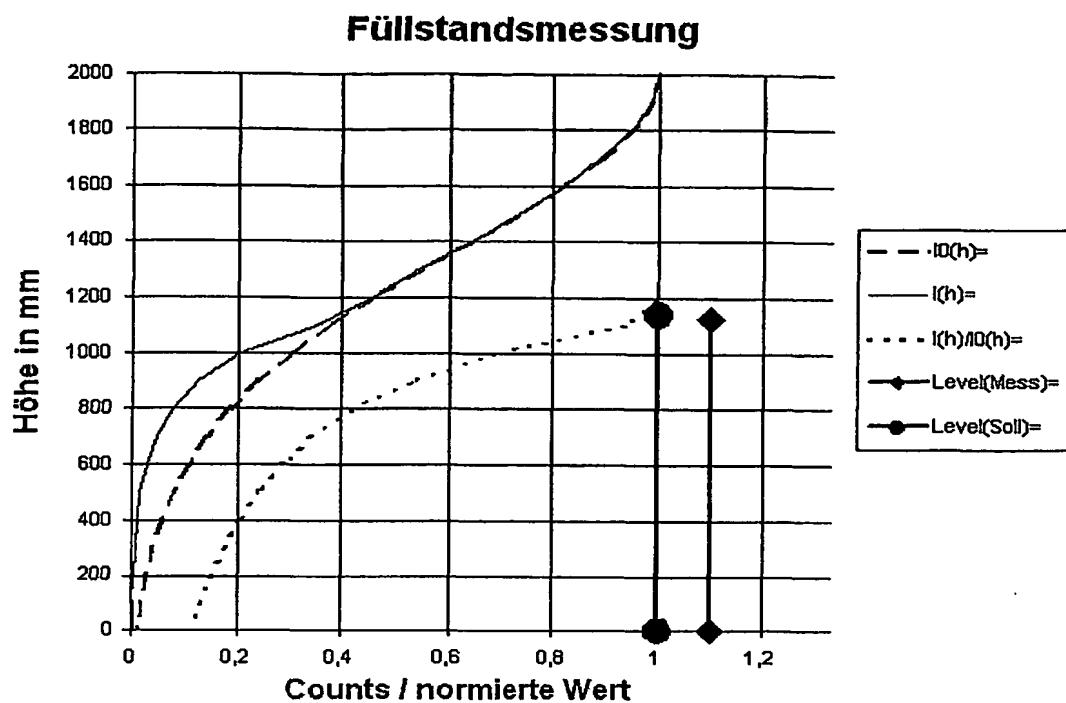
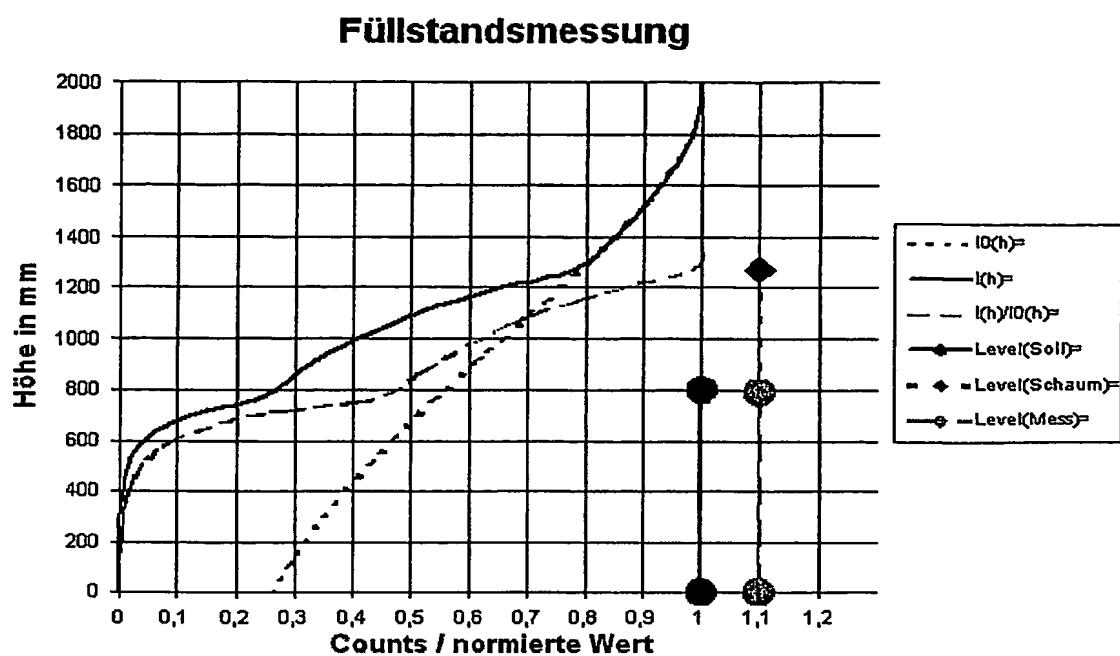
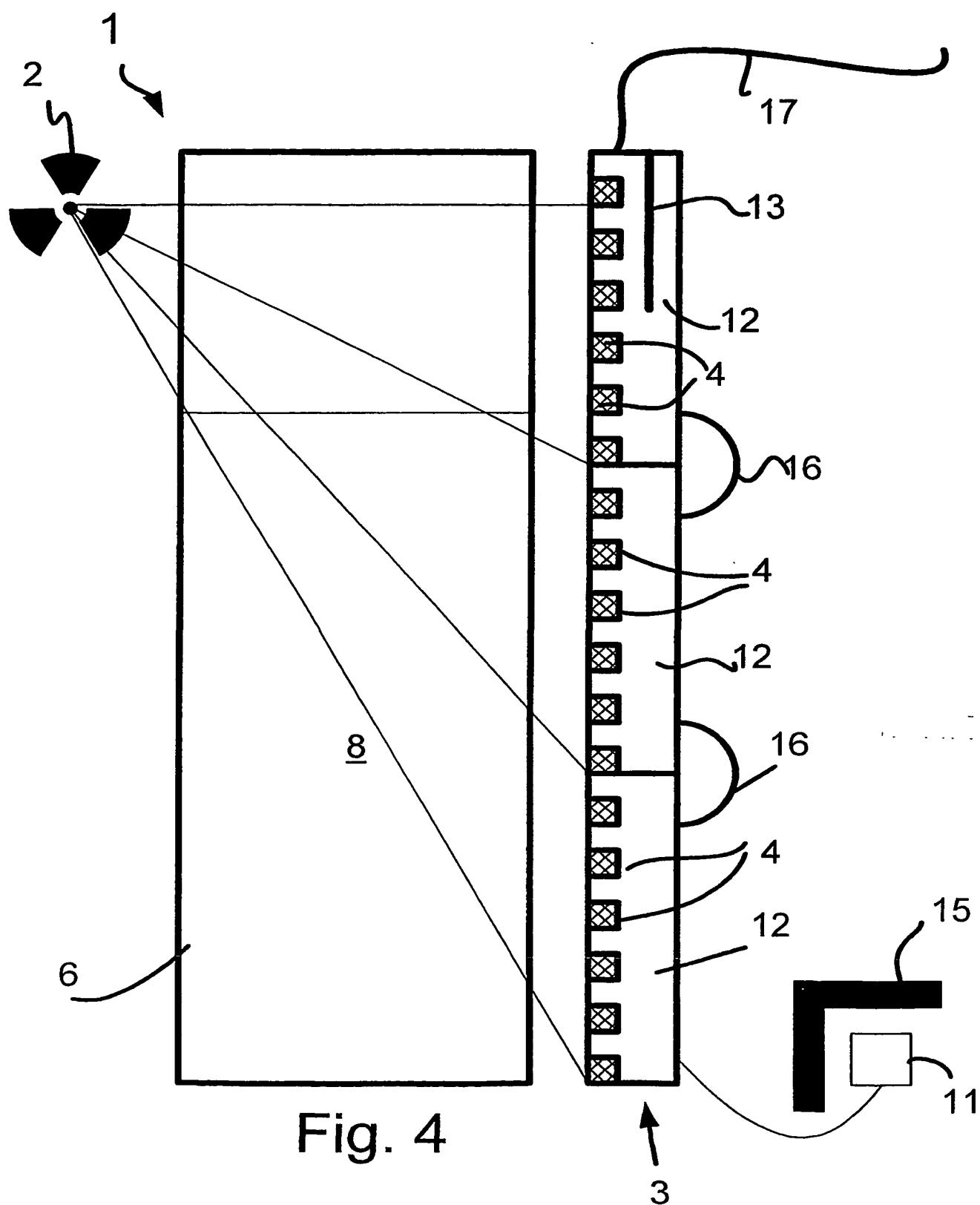
Fig.2

Fig.3



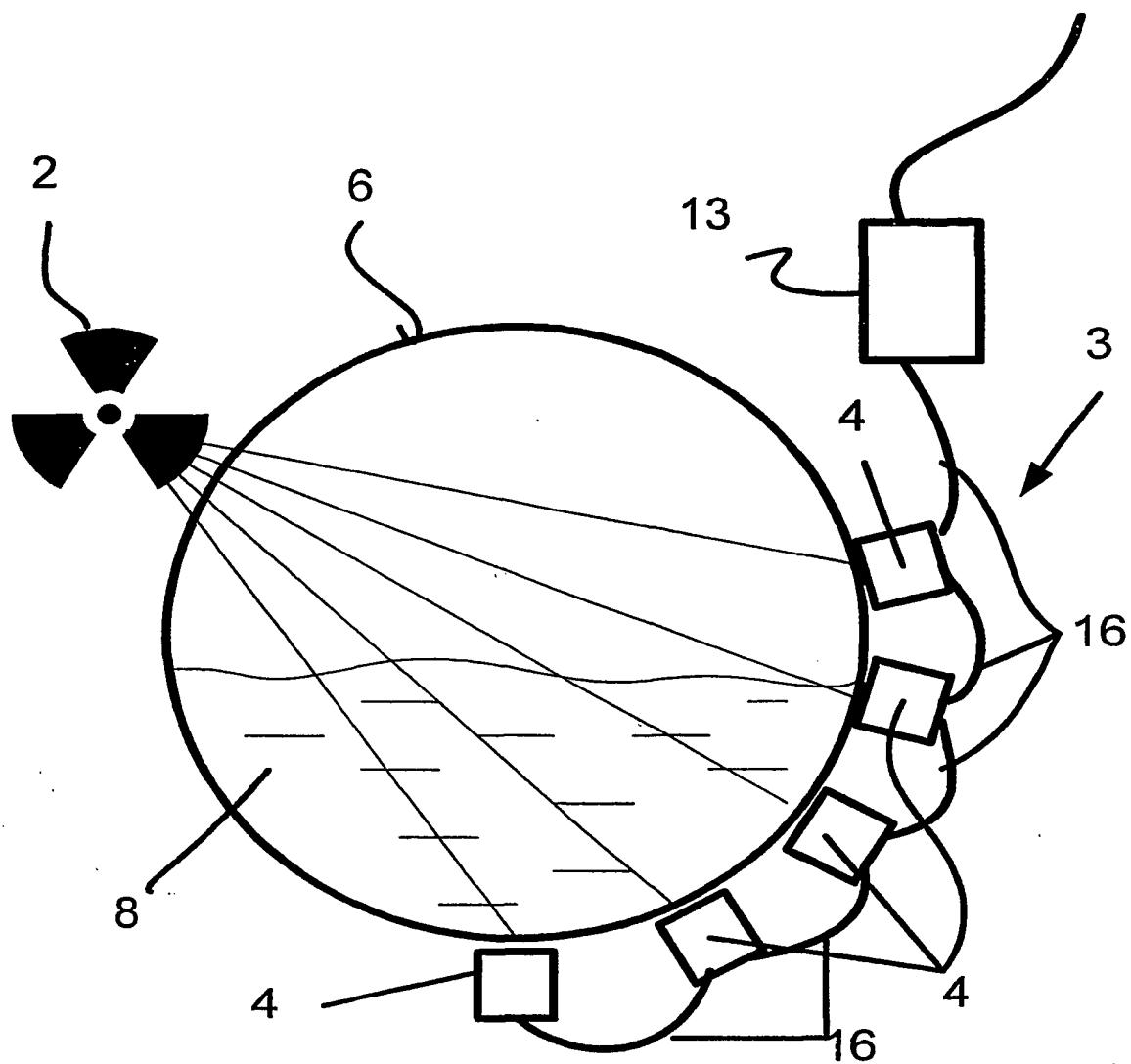


Fig. 5

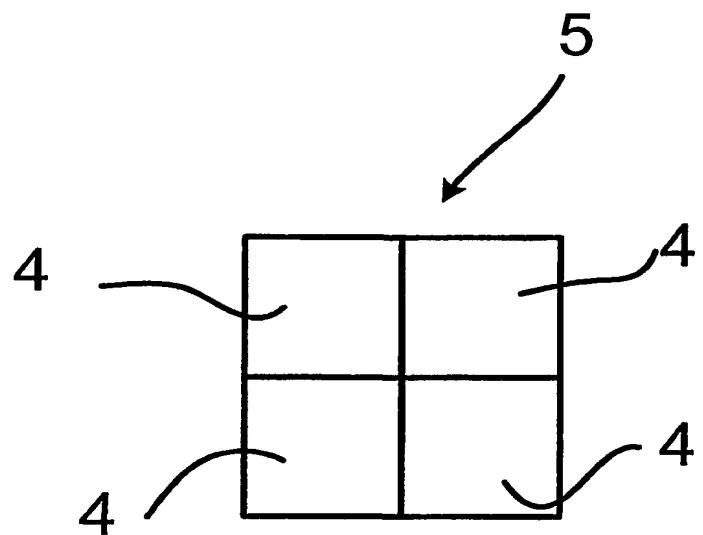


Fig. 6

Fig. 7

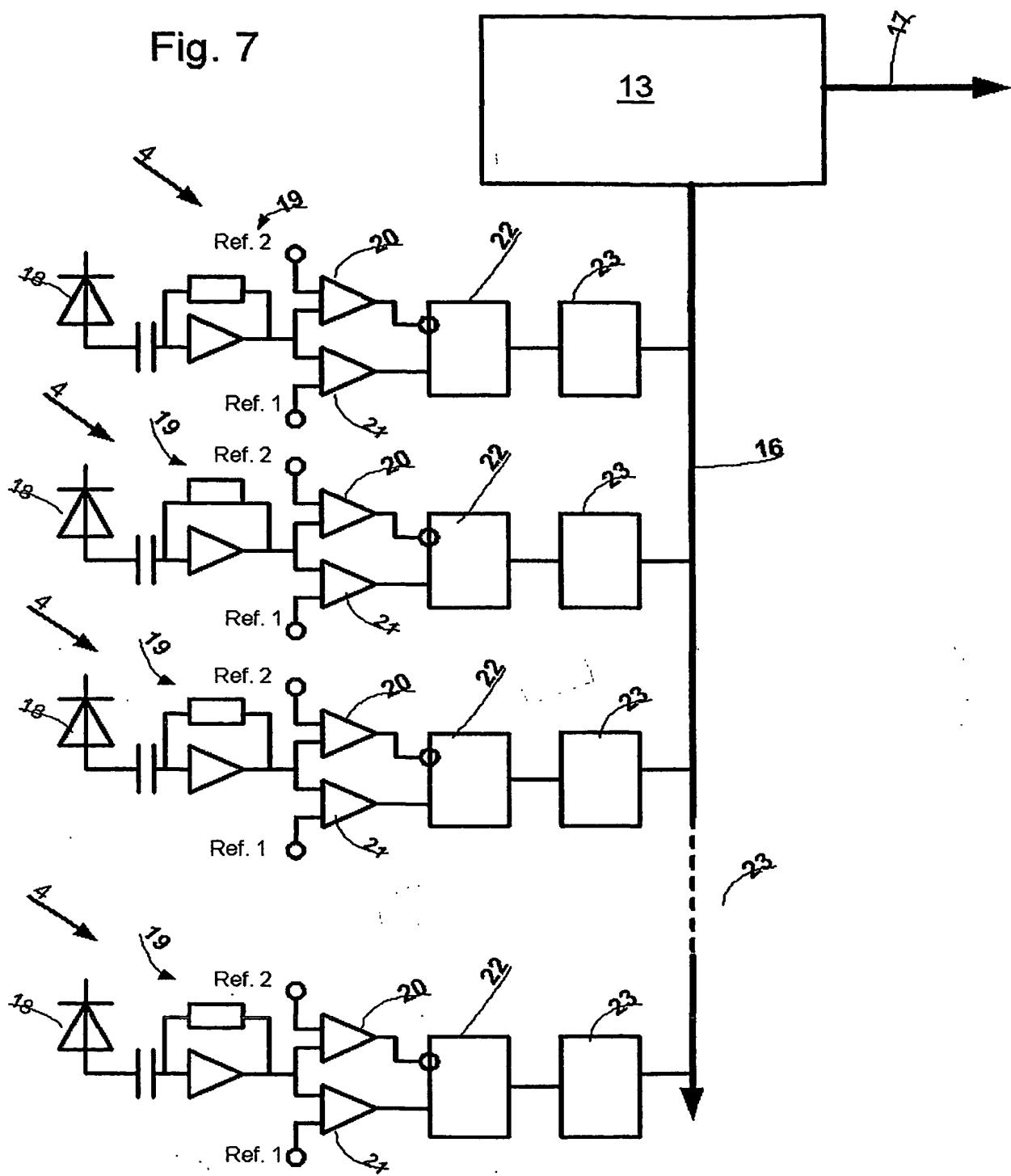


Fig. 8

